

Водные биоресурсы и среда обитания

2021, том 4, номер 2, с. 7–17

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_2_7

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment

2021, vol. 4, no. 2, pp. 7–17

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_2_7

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 551.46.07:629.783

ХЛОРОФИЛЛ «а» В АЗОВСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В 2006–2019 ГГ.

© 2021 А. Т. Кочергин, Л. В. Крискевич

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия
E-mail: kochkerch@mail.ru*

Аннотация. На основе спутниковых снимков поверхности моря проведено исследование содержания хлорофилла «а» в различных районах Азовского моря в 2006–2019 гг. в периоды минимума, весеннего и летне-осеннего пиков. Показаны районы и периоды основных выраженных и вторичных пиков концентрации хлорофилла «а», угасания до минимума его развития. В исследуемый период концентрации хлорофилла «а» при весенней вспышке в основном не превышали 20 мг/м³, за исключением центра моря и его восточных районов, где в отдельные годы содержание пигмента достигало 50 мг/м³. Особенно низкие весенние концентрации хлорофилла «а» наблюдались после 2013 г., не превышая 16,5 мг/м³ во всех районах. Выраженная весенняя вспышка приходилась главным образом на апрель–май со вторичным, более слабым проявлением в январе–марте, особенно в восточной и юго-восточной частях моря в последнее десятилетие. До 2014 г. летне-осенний пик содержания хлорофилла «а» характеризовался повышенными концентрациями в северном, центральном и восточных районах моря — до 40–50 мг/м³, после 2014 г. на всей акватории — до 20 мг/м³. Основной период летне-осеннего пика концентрации хлорофилла «а» — июнь–сентябрь, в некоторых районах наблюдается вторичный, менее выраженный, приходящийся на октябрь–декабрь. В течение наблюдаемого ряда лет минимум содержания хлорофилла «а» на всей акватории моря снижался от 10,0 до 4,0 мг/м³. Основные месяцы проявления минимума — октябрь–февраль в западных районах моря и ноябрь–март в центре и восточных районах. Вероятная причина отрицательного тренда концентрации хлорофилла «а» — осолонение и изменение биотической структуры моря.

Ключевые слова: хлорофилл «а», сезонные изменения, дистанционное зондирование земли, Азовское море

CHLOROPHYLL- α IN THE AZOV SEA ACCORDING TO THE DATA OF REMOTE SENSING OF THE EARTH IN 2006–2019

A. T. Kochergin, L. V. Kriskevich

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: kochkerch@mail.ru*

Abstract. Based on satellite images of the sea surface, chlorophyll- α content in different areas of the Azov Sea in 2006–2019 has been estimated for several timeframes: its minimum, spring and summer–autumn peaks. The areas and timelines of the main pronounced and secondary peaks of chlorophyll concentration, its decline and the lowest point of its development are presented. During the investigated period, chlorophyll- α concentrations in the context of the spring population explosion were predominantly lower than 20 mg/m³, except for the central part of the sea and its eastern areas, where, in certain years, the content of this pigment reached 50 mg/m³. Particularly low concentrations of chlorophyll- α in spring were observed after 2013; they did not exceed the value of 16.5 mg/m³ in any area. A pronounced spring explosion mainly fell upon April and May, with its secondary weaker case in January – March, especially in the eastern and southeastern parts of the sea through the recent decade. The summer–autumn peak of chlorophyll- α content was characterized by increased concentrations: up to 40–50 mg/m³ in the northern, central and eastern parts of the sea until 2014, and up to 20 mg/m³ throughout the entire area since then. The summer–spring peak of chlorophyll- α concentration stretches predominately from June to September, and there exists the second peak in some areas. Second peak is less pronounced and falls upon October – December. In the course of the observation period, the minimum of chlorophyll- α content was decreasing from 10.0 to 4.0 mg/m³ throughout the entire sea area. The minimum was recorded mostly during the following months: October – February for the western parts of the sea, and November – March for the central and eastern parts. It is possible that the negative trend in chlorophyll- α content could be induced by salinization and changes in the biotic structure of the sea.

Keywords: chlorophyll- α , seasonal variations, remote sensing, Azov Sea

ВВЕДЕНИЕ

Применение косвенных методов оценки развития фитопланктона, в частности дистанционное определение пигментов фотосинтеза на спутниковых снимках, получило широкое распространение. В последние десятилетия спутниковые данные о цвете океана все шире используются для оценок биопродуктивности морских акваторий и контроля их экологического состояния. При этом основным показателем является концентрация хлорофилла « α » — главного фотосинтезирующего пигмента, содержащегося в каждом виде фитопланктона, без участия которого не может формироваться трофическая пирамида и экосистема в целом [1]. Для его определения широко используются эмпирические соотношения (связи) концентрации хлорофилла и спектральных характеристик восходящего из моря излучения.

Азовское море характеризуется высокой биологической продуктивностью вод; наблюдаемая здесь изменчивость концентрации хлорофилла

« α » находится в диапазоне 1–150 мг/м³ [2], т. е. по данному параметру водоем имеет разнообразные по трофности зоны: от олиготрофных (менее 1,5 мг/м³) до гипертрофных (более 30 мг/м³) [3]. По литературным данным [3], содержание хлорофилла « α » в фитопланктоне Азовского моря может составлять 0,1–0,8 % (в среднем 0,49) биомассы. При изучении фитопланктона хлорофилл « α » часто рассматривают как аналог биомассы, а также в качестве репрезентативной характеристики продуктивности вод [4, 5]. Существует хорошая корреляция биомассы фитопланктона и хлорофилла « α » с коэффициентами корреляции 0,72–0,85 при 99 % доверительной вероятности [3, 6].

Во внутригодовом аспекте наблюдается определенная изменчивость как биомассы фитопланктона, так и хлорофилла « α ». Первый пик развития хлорофилла « α » приходится на февраль–апрель во всей акватории Азовского моря, второй в собственном море наблюдается в разных районах между августом и октябрём (наиболее часто в августе)

[2, 7–9], а в Таганрогском заливе — в июне–сентябре [2]. Величина и продолжительность летне-осеннего пика хлорофилла «а» больше весеннего на всей акватории. Начало и конец весеннего максимума зависят от ледовой обстановки и температурных условий предшествующей зимы. Зимой развитие фитопланктона не прекращается и может закончиться, не произведя вспышки весной.

Межгодовая изменчивость характеризовалась положительным трендом в 1998–2007 гг., наиболее выраженным на северо-востоке собственно моря и в Таганрогском заливе, с последующим снижением до 2014 г. [7, 8].

В Азовском море средние концентрации хлорофилла «а» как минимум на порядок выше, чем в Черном море. Граница раздела черноморских и азовских вод, судя по концентрации хлорофилла «а», располагалась в средней части Керченского пролива. Наибольшие значения концентрации хлорофилла «а» в Азовском море регистрировались вблизи побережья и в мелководных районах восточной части моря. Высокие концентрации хлорофилла «а», достигавшие в летне-осенний период 50 мг/м^3 и выше, сосредоточены вблизи устьевых и прибрежных районов Азовского моря, в частности в Таганрогском заливе и водах юго-восточного побережья [10–12].

Для полей хлорофилла, как и для многих других океанологических характеристик, свойственна пятнистость горизонтального распределения и значительная временная изменчивость. Для полного и корректного описания фитопланктона по концентрации хлорофилла «а» в том или ином водоеме или отдельном его районе важно иметь не только средние значения за определенный период, но и характеристики его пространственно-временного распределения, определяемые по результатам непрерывных контактных и дистанционных измерений.

В данной работе предлагается пространственно-временной анализ содержания хлорофилла «а» в Азовском море и его районах (исключая Таганрогский залив) в периоды минимума, весенней и летне-осенней вспышек его развития по данным дистанционного зондирования Земли в 2006–2019 гг., что детализирует продукционные процессы акватории в последние полтора десятилетия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для исследований послужили 175 репрезентативных снимков концентрации

хлорофилла «а», выбранных из нескольких тысяч ежедневных снимков спутника МОДИС в Азовском море за период с апреля 2006 г. по сентябрь 2019 г., размещенных на сайте Морского портала МГИ [13].

Значения параметров получены путем визуальной оценки в центре каждого $5'$ квадрата методом нахождения среднего значения в целом каждого из десяти районов собственно Азовского моря, представленных на рис. 1:

$$\bar{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

В связи с обширностью материалов для анализа, из данных каждого месяца главным образом выбирался один характерный снимок, определявший состояние поля хлорофилла «а» в этом месяце. В период с ноября по март в связи с длительными периодами значительной облачности при необходимости использовались 2–3 близких по дате снимка с информацией, суммарно покрывающей большую часть акватории моря в течение данного месяца. Значения концентрации хлорофилла «а» снимались в центре каждого из десяти районов собственно Азовского моря, представленных на рис. 1. Принято районирование акватории Азовского моря на основе анализа интенсивности водообмена согласно [14, 15].

Пространственно-временной анализ полей океанологических характеристик использован в качестве основной методики настоящего исследования.

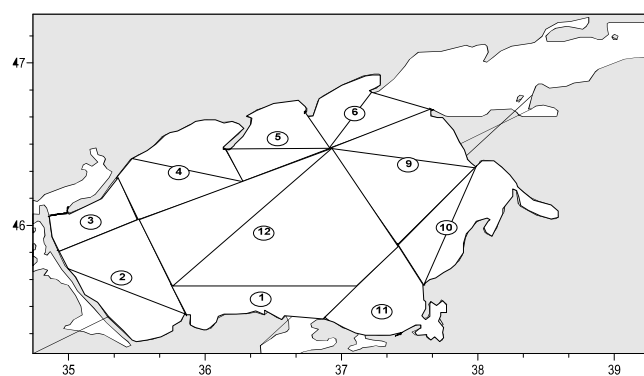


Рис. 1. Районы собственно Азовского моря
Fig. 1. Areas of the Azov Sea

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследуемый период (2006–2019 гг.) весенняя вспышка содержания хлорофилла «а» приводила к росту его концентрации, в основном не превы-

шающей 20 мг/м³. Для периферийных южного (1), западных (3–4) и северных (4–5) районов акватории данная картина наблюдалась в течение всего ряда лет. Однако в 2007–2008 гг. в юго-восточном (11), в 2008 г. в центральном (12), в 2013 г. в юго-восточном (10) и в 2012–2013 гг. в северо-восточном (6), восточном (9) и юго-восточном (11) районах рост содержания хлорофилла «а» достигал, соответственно, 25–50, 45, 30 и 30–40 мг/м³ (рис. 2А, 3А, таблица). По данным спутниковых снимков поверхностной температуры и ледовитости моря [13], в эти годы уже в апреле прогрев вод достигал 12–17 °С и наблюдалось раннее очищение акватории ото льда. После 2013 г. весенний пик во всех районах моря не превышал 16,5, в 2017–2019 гг. — 8,5 мг/м³.

Месяцы весенней вспышки — главным образом апрель–май; ее менее выраженное проявление наблюдалось и в более ранний период — январь–март, особенно в последнее десятилетие в восточном (10) и юго-восточном (11) районах моря.

Летне-осенний пик роста содержания хлорофилла «а» в районах собственно моря характеризовался широким (4–50 мг/м³) диапазоном изменчивости в 2006–2009 и 2012–2013 гг. и узким (6–25 мг/м³) в остальные годы — 2010–2011 и 2014–2019 гг. (рис. 2Б, таблица). Относительно высокие (40–50 мг/м³) значения отмечались в следующих районах:

- № 5 — в 2007–2008 гг.;
- № 6 — в 2007, 2008, 2012 гг.;
- № 9 — в 2006, 2007, 2012, 2013 гг.;
- № 10 — в 2006, 2007, 2009, 2013 гг.;
- № 11 — в 2007, 2009, 2013 гг.;
- № 12 — в 2008 г.

Таким образом, в летне-осенний период наибольшее содержание хлорофилла «а» зафиксировано до 2014 г. в северном (5), центральном (1) и восточных (6, 9, 10, 11) районах моря (рис. 3Б). С 2013 г. летне-осенние концентрации хлорофилла «а» по всей акватории не превышали 20 мг/м³. Снижение содержания хлорофилла «а» как в весенний, так и летне-осенний пики связано, вероятно, с ростом солености моря до 13,1 ‰ в 2015 г., что привело к трансформации состава и пространственной структуры фитопланктона, которая выразилась в сокращении ареалов пресноводно-солонатоводного комплекса и расширении ареалов морских видов. В собственно море из состава сообщества практически полностью выпали синезеленые во-

доросли, в динамике средневегетационной биомассы фитопланктона отмечено ее значительное снижение [16]. Повышение солености вод Азовского моря способствовало и сокращению ареала полупроходных рыб (лещ и тарань) [17]. К 2020 г. средняя для собственно моря соленость, по данным лаборатории гидрологии АзНИИРХ (устное сообщение С.В. Жуковой), достигла 15,1 ‰.

Основной период проявления летне-осеннего пика концентрации хлорофилла «а» приходился на июнь–сентябрь. Менее выраженный вторичный пик наблюдался почти во всех районах, за исключением первого и второго, в более поздние месяцы: в октябре (2006, 2007, 2009, 2012–2014, 2018 гг.), ноябре (2009, 2011, 2019 гг.) и даже декабре (2006, 2011, 2014 гг.). Осенний, вторичный, пик менее выражен, очевидно, и в силу заглупления максимума цветения холодолюбивых, имеющих тенденцию роста биомассы диатомовых водорослей на глубину 5 м и ко дну, не находя достаточного отражения на данных спутникового мониторинга.

Минимальное годовое содержание хлорофилла «а» во всей акватории снижалось с течением времени, не превышая: 10 мг/м³ в 2006–2007 гг., 5,5 мг/м³ в 2008–2010 гг., 4,5 мг/м³ в 2011–2012 гг. и 4,0 мг/м³ впоследствии (рис. 2В, таблица). Время проявления минимума — преимущественно октябрь–февраль в районах № 1, 2 и 4 западной части моря и ноябрь–март в остальных, т. е. в центре и восточной части акватории. В отдельных районах минимум отмечался в другие месяцы: в апреле–мае в 2006, 2010–2011, 2014 гг., в июле–августе в 2009–2010, 2013, 2014 гг., — вероятно, при смещении летне-осеннего пика на более поздние сроки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследуемый период (2006–2019 гг.) концентрации хлорофилла «а» при весенней вспышке в основном не превышали 20 мг/м³. Однако в 2007–2008 гг. в юго-восточном, в 2008 г. в центральном и в 2012–2013 гг. в восточных районах рост его содержания достигал 25–50 мг/м³. С 2013 г. весенний пик во всех районах моря не превышал 16,5, после 2016 г. — 8,5 мг/м³. Основная весенняя вспышка проявлялась главным образом в апреле–мае; менее выраженная — с января по март, особенно в восточной и юго-восточной частях моря в последнее десятилетие.

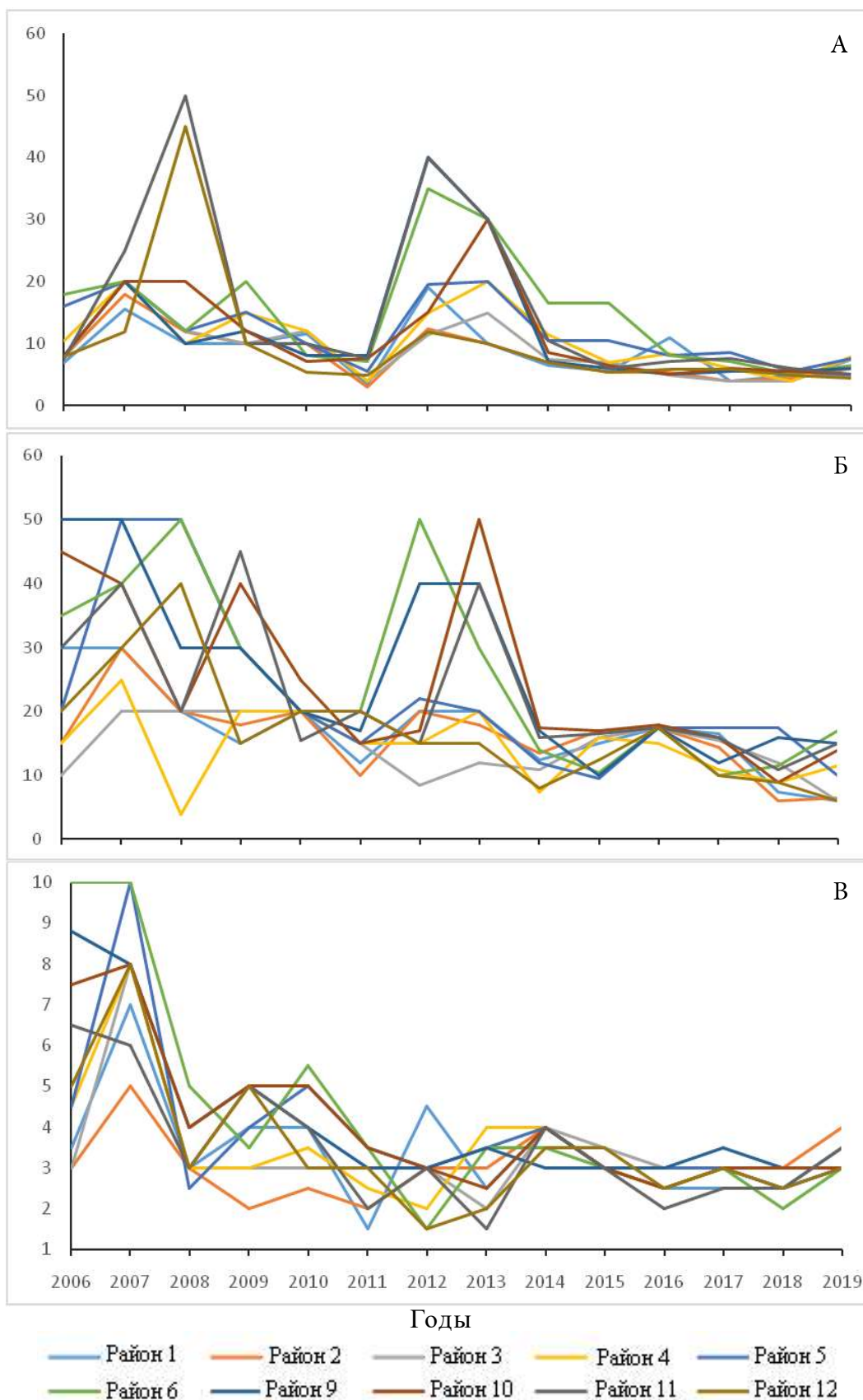


Рис. 2. Весенний (А), летне-осенний (Б) пики и годовой минимум (В) хлорофилла «α» (мг/м³) в различных районах Азовского моря

Fig. 2. Spring (A), summer–autumn (B) peaks and annual minimum (B) of chlorophyll-α (mg/m³) in different areas of the Azov Sea

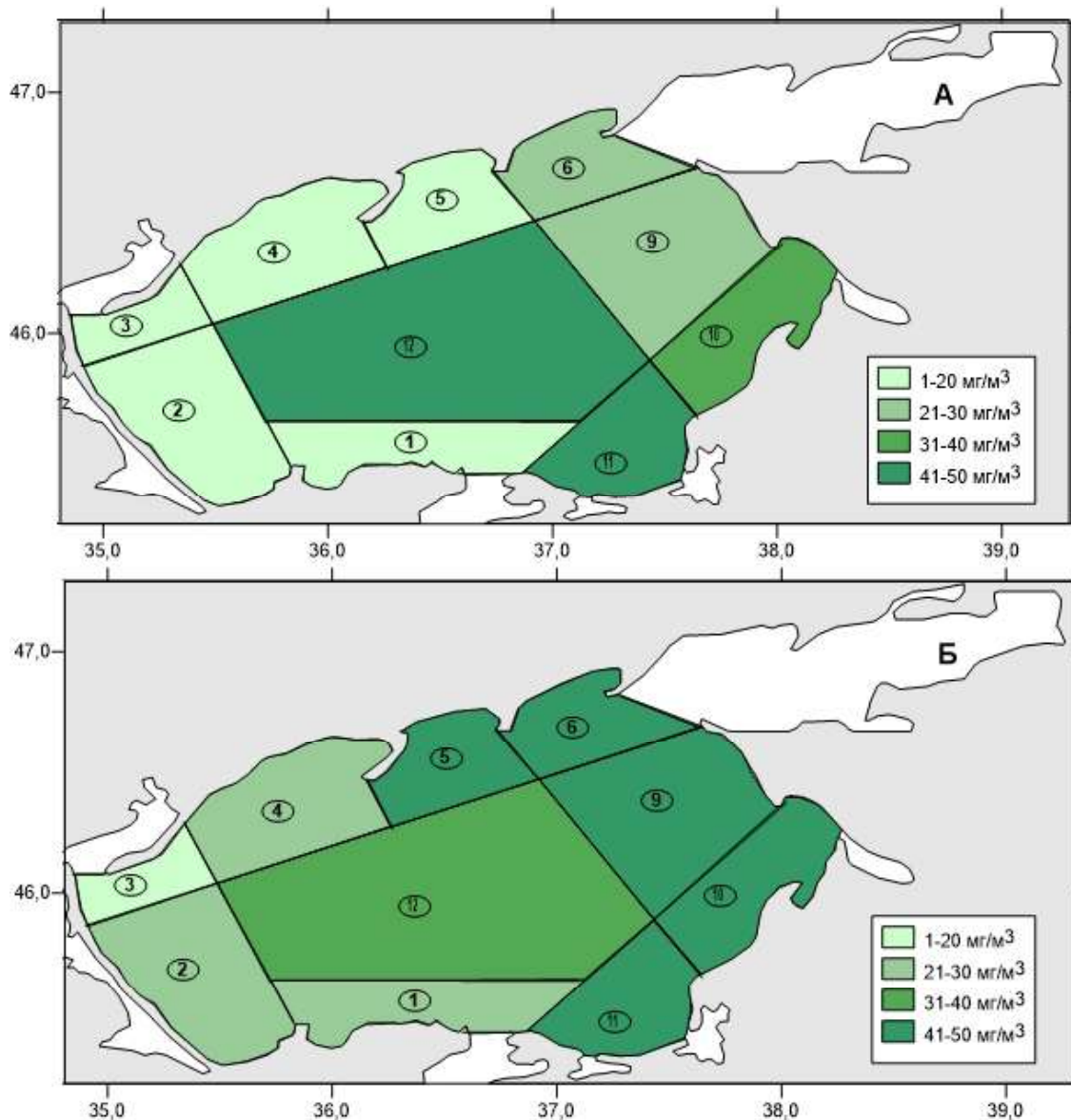


Рис. 3. Концентрация хлорофилла «а» в районах Азовского моря: А — весенний период, Б — летне-осенний период

Fig. 3 Chlorophyll-*a* content in different areas of the Azov Sea: A — spring, Б — summer–autumn

Летне-осенний пик содержания хлорофилла «а» в исследуемых районах моря характеризовался широким диапазоном изменчивости в 2006–2009 и 2012–2013 гг. и более узким — в 2010–2011 и 2014–2019 гг. Наибольшие концентрации (до 40–50 мг/м³) наблюдались до 2014 г. в северном, центральном и восточных районах моря, а после 2014 г. — не превышали 20 мг/м³ по всей акватории. Основной период летне-осеннего пика концентрации хлорофилла «а» — июнь–сентябрь, вторичный, менее выраженный, наблюдался в некоторых районах в октябре–декабре.

Годовой минимум содержания хлорофилла «а» во всей акватории снижался в течение периода наблюдений от 10,0 до 4,0 мг/м³. Время проявления минимума — преимущественно октябрь–февраль в западных районах моря, в центре и восточной части акватории — ноябрь–март. В отдельных районах в некоторые годы зафиксировано проявление минимума в апреле–мае и июле–августе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баринаева С.С. Проблема интегральной оценки токсического влияния на фотосинтетические орга-

Концентрация хлорофилла «α» (мг/м³) в районах Азовского моря по данным спутниковых снимков
Chlorophyll-α content (mg/m³) in different areas of the Azov Sea based on the data of satellite images

Район Area	Сезон / Год Season / Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Весенний пик Spring peak	7,0	15,5	10,0	10,0	11,5	3,5	19,0	10,0	6,5	5,5	11,0	4,0	5,0	5,0
1	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	30,0	30,0	20,0	15,0	20,0	12,0	20,0	20,0	12,5	15,0	17,5	16,5	7,5	6,0
	Минимум в году Annual minimum	3,5	7,0	3,0	4,0	4,0	1,5	4,5	2,5	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	3,5
	Весенний пик Spring peak	8,0	18,0	12,0	10,0	10,0	3,1	12,5	10,0	7,0	5,5	5,5	4,0	4,5	6,0
2	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	15,0	30,0	20,0	18,0	20,0	10,0	20,0	18,0	13,5	17,0	17,5	14,5	6,0	6,5
	Минимум в году Annual minimum	3,0	5,0	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0
	Весенний пик Spring peak	8,0	20,0	12,0	10,0	12,0	4,0	11,5	15,0	7,5	7,0	5,0	4,0	4,0	7,5
3	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	10,0	20,0	20,0	20,0	20,0	15,0	8,5	12,0	11,0	16,0	17,5	15,5	12,0	6,0
	Минимум в году Annual minimum	3,0	8,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	3,0
	Весенний пик Spring peak	10,5	20,0	10,0	15,0	12,0	4,0	15,0	20,0	11,5	7,0	8,5	6,0	4,0	8,0
4	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	15,0	25,0	4,0	20,0	20,0	15,0	15,0	20,0	7,5	16,0	15,0	11,0	9,0	11,5
	Минимум в году Annual minimum	4,5	8,0	3,0	3,0	3,5	2,5	2,0	4,0	4,0	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0
	Весенний пик Spring peak	16,0	20,0	12,0	15,0	10,0	5,5	19,5	20,0	10,5	10,5	8,0	8,5	5,5	7,5
5	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	20,0	50,0	50,0	30,0	20,0	15,0	22,0	20,0	12,0	9,5	17,5	17,5	17,5	10,0
	Минимум в году Annual minimum	4,5	10,0	2,5	4,0	5,0	3,5	3,0	3,5	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0

Таблица (окончание)
Table (finished)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	Весенний пик Spring peak	18,0	20,0	12,0	20,0	8,0	7,0	35,0	30,0	16,5	16,5	8,0	7,0	5,0	6,5
	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	35,0	40,0	50,0	30,0	20,0	20,0	50,0	30,0	14,0	10,5	17,5	10,0	11,5	17,0
	Минимум в году Annual minimum	10,0	10,0	5,0	3,5	5,5	3,5	1,5	3,5	3,5	3,0	2,5	3,0	2,0	3,0
9	Весенний пик Spring peak	8,0	20,0	10,0	12,0	8,0	8,0	40,0	30,0	7,0	6,0	5,0	5,5	5,5	6,0
	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	50,0	50,0	30,0	30,0	20,0	17,0	40,0	40,0	17,0	10,0	17,5	12,0	16,0	15,0
	Минимум в году Annual minimum	8,8	8,0	4,0	5,0	4,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0
10	Весенний пик Spring peak	8,0	20,0	20,0	12,0	7,0	7,5	15,0	30,0	8,5	6,5	5,0	6,0	5,5	5,0
	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	45,0	40,0	20,0	40,0	25,0	15,0	17,0	50,0	17,5	17,0	18,0	16,0	9,0	14,0
	Минимум в году Annual minimum	7,5	8,0	4,0	5,0	5,0	3,5	3,0	2,5	4,0	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0
11	Весенний пик Spring peak	7,5	25,0	50,0	10,0	10,0	7,5	40,0	30,0	10,5	6,0	7,0	7,5	6,0	5,0
	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	30,0	40,0	20,0	45,0	15,5	20,0	15,0	40,0	16,0	16,5	17,5	16,0	11,0	15,0
	Минимум в году Annual minimum	6,5	6,0	3,0	5,0	4,0	2,0	3,0	1,5	4,0	3,0	2,0	2,5	2,5	3,5
12	Весенний пик Spring peak	8,0	12,0	45,0	10,0	5,5	5,0	12,0	10,0	7,0	5,5	6,0	6,0	5,0	4,5
	Летне-осенний пик Summer – autumn peak	20,0	30,0	40,0	15,0	20,0	20,0	15,0	15,0	8,0	12,5	17,5	10,0	9,0	6,0
	Минимум в году Annual minimum	5,0	8,0	3,0	5,0	3,0	3,0	1,5	2,0	3,5	3,5	2,5	3,0	2,5	3,0

Примечание: Жирным шрифтом выделены концентрации хлорофилла «а» $\geq 25,0$ мг/м³

Note: Chlorophyll- α concentrations ≥ 25.0 mg/m³ are given in bold

- низмы в водных экосистемах // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 1. С. 39–43. doi: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_39.
2. Сапрыгин В.В. Изучение распределения хлорофилла α в Азовском море по данным дистанционного зондирования Земли из космоса и результатам судовых измерений : автореф. дис. канд. геогр. наук. Ростов-н/Д.: Изд-во Федерального исследовательского центра Южного научного центра Российской академии наук, 2011. 27 с.
 3. Студеникина Е.И., Сафронова Л.Н., Губина Т.С. Содержание хлорофилла и особенности его распределения в Азовском море // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. АзНИИРХ (1996–1997 гг.). Ростов-н/Д.: Изд-во АзНИИРХ, 1998. С. 104–112.
 4. Измествьева Л.Р., Кожова О.М., Михеева Т.М. Мониторинг фитопланктона. Новосибирск: Наука, 1992. 141 с.
 5. Ecosystem Barents Sea / E. Sakshaug, G. Johnsen, K. Kovacs. (Eds.). Trondheim: Tapir Academic Press, 2009. 588 p.
 6. Косенко Ю.В., Шевцова Е.А., Баскакова Т.Е. Характеристика изменений содержания хлорофилла «α» и каротиноидов фитопланктона в поверхностных горизонтах Азовского моря в период 2006–2015 гг. // Труды АзНИИРХ (результаты рыбохозяйственных исследований в Азово-Черноморском бассейне) : сб. науч. тр. по результатам исследований за 2014–2015 гг. Ростов-н/Д.: Изд-во АзНИИРХ, 2017. Т. 1. С. 85–90.
 7. Антонюк А.Ю. Спутниковый мониторинг Азово-Черноморского бассейна с целью обеспечения экологической безопасности // Труды Государственного океанографического института. 2015. № 216. С. 254–267.
 8. Любарцева С.П., Суегин В.С., Королев С.Н. Оценка изменений экологического состояния Азовского моря по данным наблюдений из космоса // Доповіді Національної академії наук України. 2011. № 3. С. 124–128.
 9. Сапрыгин В.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В., Дашкевич Л.В., Местецкий Л.М. Пространственное распределение и сезонная динамика концентрации хлорофилла «α» в Азовском море по данным спутниковых снимков спектрометра MERIS // Океанология. 2018. Т. 58, № 5. С. 751–762.
 10. Белогорская Е.В. О содержании хлорофилла в планктоне Азовского моря // Труды Севастопольской биологической станции Академии наук СССР. 1964. Т. 17. С. 221–230.
 11. Василенко Н.В., Медведева А.В. Фитопланктон в водах Азовского моря — характеристика по данным дистанционного зондирования // Моря России: методы, средства и результаты исследований : тезисы докл. Всерос. науч. конф. (г. Севастополь – пгт. Качивели, 24–28 сентября 2018 г.). Севастополь: Изд-во Морского гидрофизического института Российской академии наук, 2018. 219 с.
 12. Оперативная оценка состояния и загрязнения вод прибрежной полосы российского сектора Азовского и Черного морей на основе регионального космического мониторинга (с использованием разновременных изображений ИСЗ AQUA (MODIS), TERRA (MODIS), NOAA (AVHRR), JASON, ENVISAT и QUIKSCAT) 1–10 июля 2009 г. // Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». URL: http://planet.iitp.ru/projects/sea_monitor/decades/2009_07_1.pdf (дата обращения 03.08.2020).
 13. Параметры поверхности Черного моря по данным MODIS // Морской портал Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт Российской академии наук». URL: http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml (дата обращения 09.03.2021).
 14. Книпович Н.М. Гидрология морей и солоноватых вод (в применении к промысловому делу). М.: Пищепромиздат, 1938. 513 с.
 15. Федосов М.В., Виноградова Е.В. Основные черты гидрохимического режима Азовского моря // Труды ВНИРО. 1955. Т. 31, вып. 1. С. 9–35.
 16. Сафронова Л.М., Лужняк О.Л. Трансформация фитопланктона Азовского моря в условиях современного осолонения // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : матер. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (г. Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.) / Под ред. А.Е. Гаевской. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 2. С. 417–420.
 17. Фроленко Л.Н., Живоглядова Л.А., Ковалев Е.А. Состояние кормовой базы рыб-бентофагов Азовского моря // Вопросы рыболовства. 2019. Т. 20, № 1. С. 49–58.

REFERENCES

1. Barinova S.S. Problema integral'noy otsenki toksicheskogo vliyaniya na fotosinteticheskie organizmy v vodnykh ekosistemakh [The problem of integral assessment of toxic influence on photosynthetic organisms in aquatic ecosystems]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya* [Aquatic Bioresources & Environment], 2018, vol. 1, no. 1, pp. 39–43. doi: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_39. (In Russian).
2. Saprygin V.V. Izuchenie raspredeleniya khlorofilla α v Azovskom more po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa i rezul'tatam sudovykh izmereniy : avtoref. dis. kand. geogr. nauk [Study of chlorophyll-α distribution in Azov Sea based on the data from remote sensing of the Earth from space and the results of shipboard measurements. Extended abstract

- of Candidate's (Geography) Thesis]. Rostov-on-Don: Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr Yuzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Federal Research Centre the Southern Science Centre of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2011, 27 p. (In Russian).
3. Studenikina E.I., Safronova L.N., Gubina T.S. Soderzhanie khlorofilla i osobennosti ego raspredeleniya v Azovskom more [Chlorophyll content and special features of its distribution in the Azov Sea]. In: *Osnovnye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseyna : sbornik nauchnykh trudov AzNIIRKH (1996–1997 gg.)* [The main problems of fisheries and protection of waterbodies with fisheries in the Azov Sea Basin. Collection of research papers of AzNIIRKH (1996–1997)]. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., 1998, pp. 104–112. (In Russian).
 4. Izmestyeva L.R., Kozhova O.M., Mikheeva T.M. Monitoring fitoplanktona [Monitoring of phytoplankton]. Novosibirsk: Nauka [Science], 1992, 141 p. (In Russian).
 5. Ecosystem Barents Sea. E. Sakshaug, G. Johnsen, K. Kovacs. (Eds.). Trondheim: Tapir Academic Press, 2009, 588 p.
 6. Kosenko Yu.V., Shevtsova E.A., Baskakova T.E. Kharakteristika izmeneniy soderzhaniya khlorofilla "α" i karotinoidov fitoplanktona v poverkhnostnykh gorizontakh Azovskogo morya v period 2006–2015 gg. [Characteristic changes in the chlorophyll "α" and carotenoids of phytoplankton in the surface waters of the Azov Sea over the period 2006–2015]. In: *Trudy AzNIIRKH (rezul'taty rybokhozyaystvennykh issledovaniy v Azovo-Chernomorskom basseyne) : sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam issledovaniy za 2014–2015 gg.* [Proceedings of AzNIIRKH (results of fisheries studies in the Azov and Black Sea Basin). Collected papers based on the results of studies over 2014–2015]. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., 2017, vol. 1, pp. 85–90. (In Russian).
 7. Antonyuk A.Yu. Sputnikovyy monitoring Azovo-Chernomorskogo basseyna s tsel'yu obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti [Satellite monitoring of Azov and Black Sea Region to ensure environmental safety]. *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta* [State Oceanographic Institute's Proceedings], 2015, no. 216, pp. 254–267. (In Russian).
 8. Lyubartseva S.P., Suetin V.S., Korolev S.N. Otsenka izmeneniy ekologicheskogo sostoyaniya Azovskogo morya po dannym nablyudeniy iz kosmosa [Estimation of changes in the Azov Sea ecological state on the basis of satellite remote sensing data]. *Dopovidi Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2011, no. 3, pp. 124–128. (In Russian).
 9. Saprygin V.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V., Dashkevich L.V., Mestetskiy L.M. Spatial distribution and seasonal dynamics of the chlorophyll α concentration in the Sea of Azov based on satellite images. *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 5, pp. 689–699. (In Russian).
 10. Belogorskaya E.V. O soderzhanii khlorofilla v planktone Azovskogo morya [Chlorophyll content in plankton of the Azov Sea]. *Trudy Sevastopol'skoy biologicheskoy stantsii Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the Sevastopol Biological Station of the USSR Academy of Sciences], 1964, vol. 17, pp. 221–230. (In Russian).
 11. Vasilenko N.V., Medvedeva A.V. Fitoplankton v vodakh Azovskogo morya — kharakteristika po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Phytoplankton in the waters of the Azov Sea: characterization based on the data from remote sensing]. In: *Morya Rossii: metody, sredstva i rezul'taty issledovaniy : tezisy dokladov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (g. Sevastopol' – pgt. Katsiveli, 24–28 sentyabrya 2018 g.)* [Seas of Russia: methods, means and research results. Abstracts of the All-Russian Scientific Conference (Sevastopol–Katsiveli, 24–28 September 2018)]. Sevastopol: Morskoy gidrofizicheskiy institut Rossiyskoy akademii nauk [Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2018, 219 p. (In Russian).
 12. Operativnaya otsenka sostoyaniya i zagryazneniya vod pribrezhnoy polosy rossiyskogo sektora Azovskogo i Chernogo morey na osnove regional'nogo kosmicheskogo monitoringa (s ispol'zovaniem razno vremennykh izobrazheniy ISZ AQUA (MODIS), TERRA (MODIS), NOAA (AVHRR), JASON, ENVISAT i QUIKSCAT) 1–10 iyulya 2009 g. [Operational assessment of the state and pollution of the coastal waters in Russian sector of the Azov and Black Seas based on regional remote sensing (by means of multi-temporal images ISZ AQUA (MODIS), TERRA (MODIS), NOAA (AVHRR), JASON, ENVISAT and QUIKSCAT) on 1–10 July, 2009]. In: *Nauchno-issledovatel'skiy tsentr kosmicheskoy gidrometeorologii "Planeta"* [Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta"]. Available at: http://planet.iitp.ru/projects/sea_monitor/decades/2009_07_1.pdf (accessed 03.08.2020).
 13. Parametry poverkhnosti Chernogo morya po dannym MODIS [Parameters of the Black Sea surface according to MODIS data]. In: *Morskoy portal Federal'nogo issledovatel'skogo tsentra "Morskoy gidrofizicheskiy institut Rossiyskoy akademii nauk"* [Marine portal of the Federal Research Center "Marine Hydrophysical Institute of Russian Academy of Sciences"]. Available at: <http://dvs.net.ru/mp/index.shtml> (accessed 09.03.2021).
 14. Knipovich N.M. Gidrologiya morey i solonovatykh vod (v primenenii k promyslovomu delu) [Hydrology of seas and brackish waters (as applied to fisheries)]. Moscow: Pishchepromizdat [Publishing House "Food Industry"], 1938, 513 p. (In Russian).
 15. Fedosov M.V., Vinogradova E.V. Osnovnye cherty gidrokhimicheskogo rezhima Azovskogo morya [Main features of the hydrochemical regime of the Azov Sea].

- Trudy VNIRO [VNIRO Proceedings]*, 1955, vol. 31, issue 1, pp. 9–35. (In Russian).
16. Safronova L.M., Luzhnyak O.L. Transformatsiya fitoplanktona Azovskogo morya v usloviyakh sovremennogo osoloneniya [Changes in the Azov Sea phytoplankton under present-day conditions of salinization]. In: *Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, priurochennoy k 145-letiyu Sevastopol'skoy biologicheskoy stantsii (g. Sevastopol', 19–24 sentyabrya 2016 g.) [Marine biological research: achievements and perspectives. Proceedings of All-Russian Scientific Practical Conference with international participation dedicated to the 145th Anniversary of Sevastopol Biological Station (Sevastopol, 19–24 September, 2016)]*. A.E. Gaevskaya. (Ed.). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika [EKOSI-Hydrophysics], 2016, vol. 2, pp. 417–420. (In Russian).
17. Frolenko L.N., Zhivoglyadova L.A., Kovalev E.A. Sostoyanie kormovoy bazy ryb-bentofagov Azovskogo morya [Status of food resources for benthophagous fish in the Sea of Azov]. *Voprosy rybolovstva [Problems of Fisheries]*, 2019, vol. 20, no. 1, pp. 49–58. (In Russian).

Поступила 24.03.2021

Принята к печати 20.05.20 21